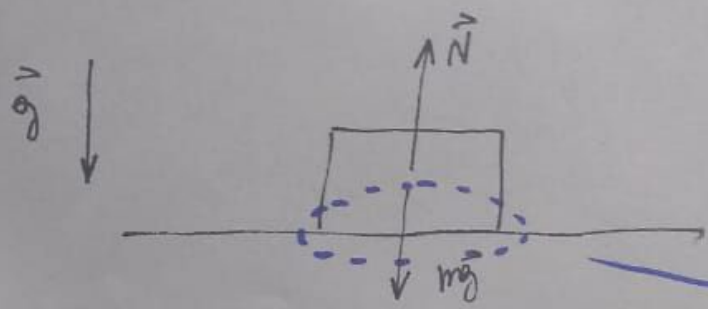


Rozamiento

Tenemos a un cuerpo apoyado en una superficie con su peso compensado por la \vec{N} .



Hagamos un "zoom" en la superficie de contacto

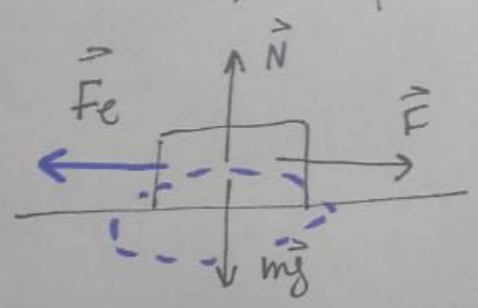


En realidad, hay muchísimas "normalitas" apuntando en distintas direcciones que cuando se suman dan la normal \vec{N} que compensa al peso,

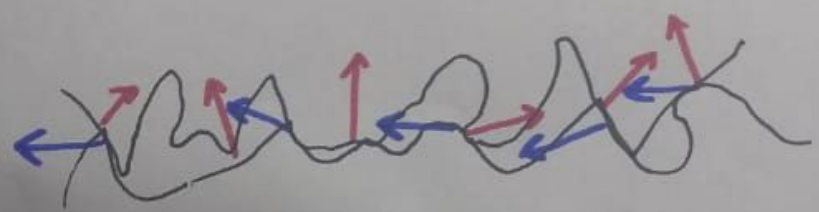
$$\nearrow + \nwarrow + \uparrow + \rightarrow + \nearrow + \nwarrow + \dots = \uparrow \vec{N}$$

Ahora supongamos que yo aplico una fuerza \vec{F} sobre la caja y noto que No se acelera de acuerdo con la 2^{da} ley de Newton... ¿Qué está pasando?

Como las superficies están "encastradas", pueden aparecer "normalitas" que apuntan principalmente en la dirección horizontal, y la suma de todas ellas compensa la fuerza externa que aplica



$$\vec{F}_e = -\vec{F}$$



Siempre y cuando $F \leq F_e^{max}$, las fuerzas de contacto pueden contrarrestar F (de forma análoga a la que \vec{N} contrarresta $m\vec{g}$). Pero si me pasa, es 0

$$\vec{F}_e = \begin{cases} -\vec{F} & \text{si } F \leq F_e^{max} \\ 0 & \text{si } F > F_e^{max} \end{cases}$$

⇒ fuerza de rozamiento estático

¿De qué depende F_e^{max} ?

$F_e^{\text{máx}}$ no depende de la superficie de contacto.

3/11

S: Si en hay más puntos de contacto, la fuerza se distribuye equitativamente entre todos, entonces hay más "normalitas" pero con menor magnitud

2) $F_e^{\text{máx}}$ depende de los materiales en contacto (de ambos)

3) Depende del peso / normal (\vec{N}).

4) $F_e^{\text{máx}}$ siempre es opuesta a la fuerza externa \vec{F} .

5) $F_e^{\text{máx}} = \underbrace{\mu}_\substack{\text{depende de} \\ \text{las dos superficies}} N$: coeficiente de rozamiento estático.

Obs. En general, F_e no vale μN .

Vale lo que tenga que valer para que el cuerpo siga en equilibrio.

Pero si en algún momento tuviese ser mayor que $F_e^{\text{máx}}$, se empezaría a mover

$\neq F_e = 0$.

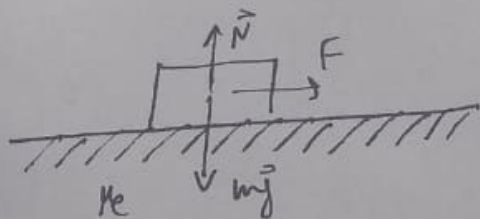
¿Por qué podemos simplificar la inmensa cantidad 4/11 de factores en juego en la superficie de contacto en una expresión tan sencilla como $F_e^{\max} = \mu_e N$?
... bienvenidos a las fronteras de la física!

$\mu_e \geq 0$ es: siempre (un peper se hace algunos años en Nature muestra un $\mu_e < 0$)

Ejemplos

- μ_e asfalto-caucho ≈ 2
- μ_e teflón ≈ 0.04
- μ_e metales ≈ 0.6

Ahora, aplica una \vec{F} tal que $F > \mu_e N$:

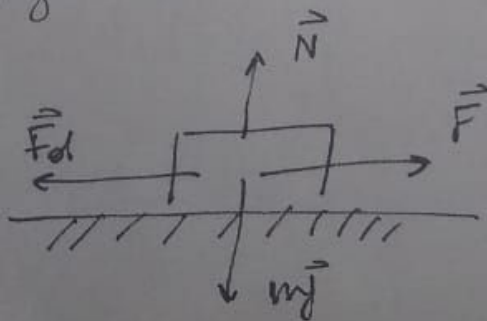


Esperaría que el bloque se mueva con aceleración

$a = \frac{F}{m}$... ¡pero obtengo un valor menor!

¿Qué está pasando?

... rozamiento dinámico



\vec{F}_d es una fuerza de rozamiento dinámico

5 / 41

\vec{F}_d siempre se opone a \vec{v} (la dirección del desplazamiento)
[No a \vec{F}]

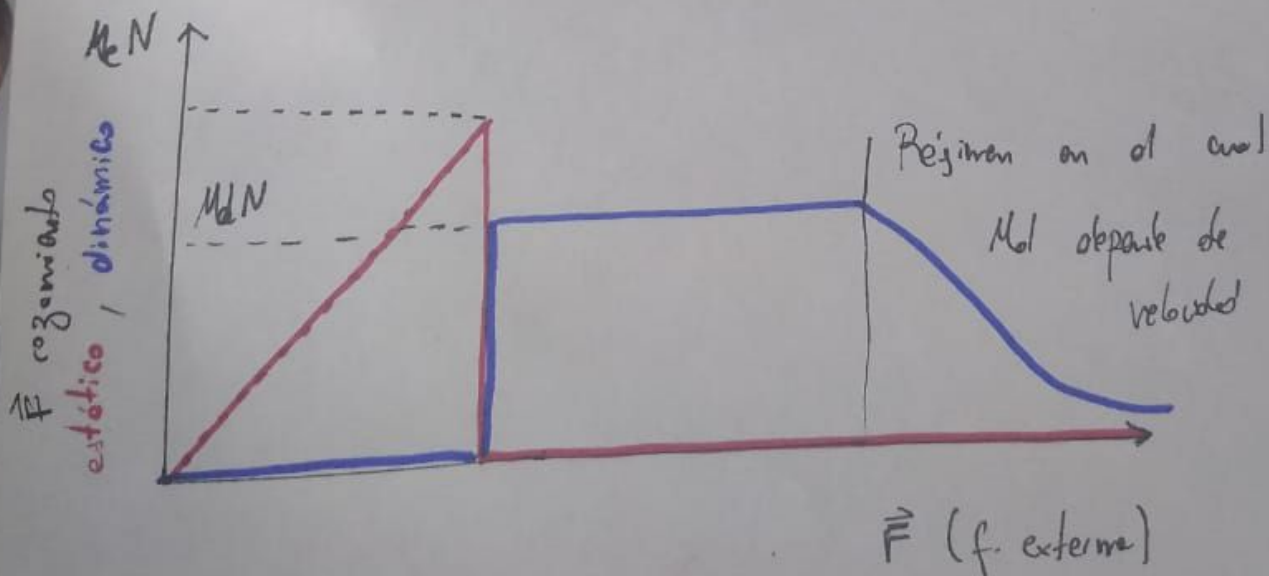
- Depende de las superficies

- No depende de la superficie de contacto

- No depende de v (dentro de ciertos rangos)

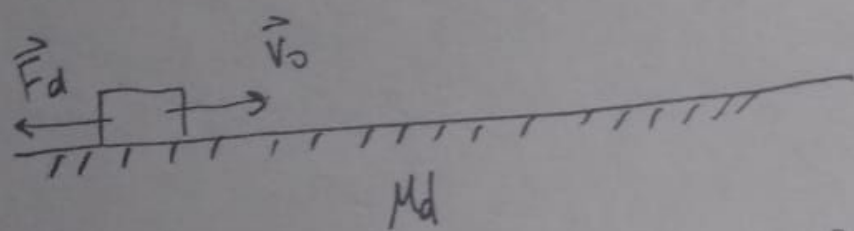
- Su valor es $F = \mu_d N$
(módulo)

- Siempre $\mu_d \leq \mu_e$, porque si no nunca comenzaría el movimiento. (en algunos materiales puede ser igual, ej. el cobre)



La pesadilla de Aristóteles

6 / 11



$$a = \frac{F_d}{m}$$

se frena o menos
que aplique una
fuerza externa.

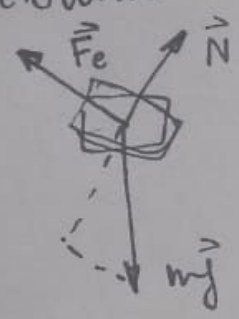
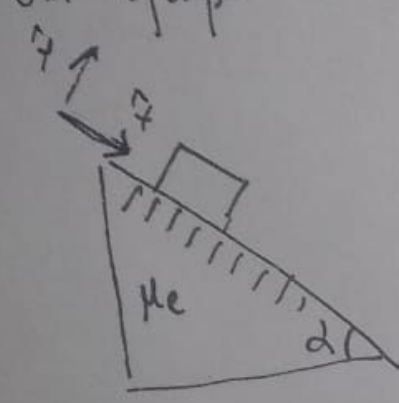
Obs \vec{F}_d se opone al
movimiento relativo entre
las superficies.

¿De dónde viene la fuerza de rozamiento
dinámico? Leer sección sobre fricción
del libro de Feynman.

(Hay que explicarlos como acoplamiento transitorio
entre las moléculas que componen las
superficies, interacción electromagnética y
efectos cuánticos)

Un ejemplo clásico para determinar μ_c (Euler) 7/11

P.C.L



$$\hat{x}: mg \sin \alpha - F_e$$

$$\hat{y}: -mg \cos \alpha + N$$

Ecuaciones de Newton,

$$0 = m\ddot{x} = mg \sin \alpha - F_e$$

$$0 = m\ddot{y} = -mg \cos \alpha + N \Rightarrow N = mg \cos \alpha$$

si el bloque no se mueve

el bloque no se mueve en y

Luego, la condición para que haya equilibrio es

$$F_e = mg \sin \alpha$$

siempre y cuando $F_e \leq \mu_c N = \mu_c mg \cos \alpha$.

El ángulo límite, entonces, ocurre cuando

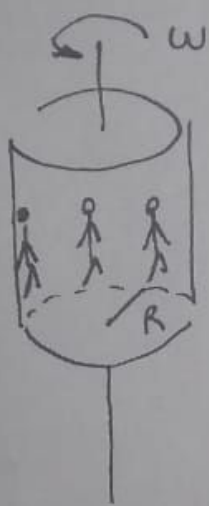
$$F_e = F_e^{\text{máx}} = \mu_c mg \cos \alpha$$

$$\text{o sea } mg \sin \alpha = \mu_c mg \cos \alpha \Rightarrow \mu_c = \tan \alpha$$

Con este método puedes estimar fácilmente μ_c únicamente midiendo ángulos

Otro ejemplo: El cilindro del terror.

8/11

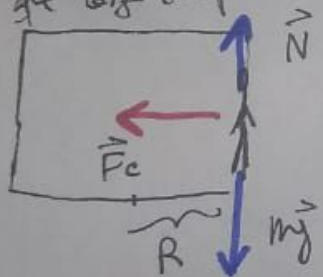


Las personas se paran en los bordes del cilindro de radio R que gira con velocidad ω .

Supongamos una persona de masa m , y el M_e entre las personas y las paredes del cilindro es conocido.

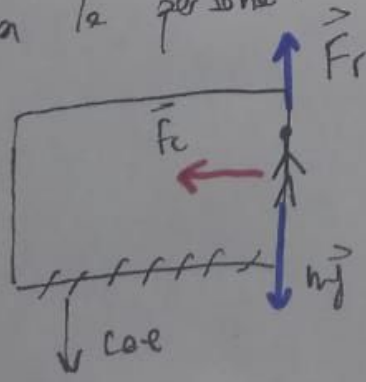
En un momento, un operador apreta un botón y el piso cae! ¿Cómo tiene que ser ω para que el cilindro del terror sea seguro?

antes de que caiga el piso:



\vec{F}_c : fuerza centrípeta
 $F = m R \omega^2$

Cuando saltamos el piso, desaparece la normal del piso. Pero puede aparecer una F_r para sostener a la persona:



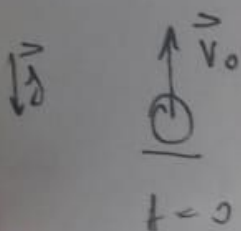
si se cumple la condición
 $F_r < M_e F_c = M_e m R \omega^2$

El caso límite es $\omega^2 \geq \frac{g}{M_e R}$
 $mg = M_e m R \omega^2$
 $g = M_e R \omega^2$ } $\approx 20 \text{ rpm}$

Hay algo extraño y profundo en la fuerza de rozamiento. No es como las demás fuerzas que vimos en la materia.

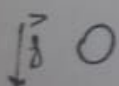
9/11

imágenes que grabo en tiro vertical y luego lo pongo en reverse
 $\vec{v} = 0$

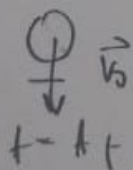


$$t = t_f$$

Reverse



$t = t_f$



La pelota se ve caer cuando la pongo al revés.

Es como si se estuviera moviendo hacia arriba, pero no el vector gravitacional (y tampoco el vector posición).

El D.C.L. es idéntico cuando se lo ve al revés

Recordamos que cualquier cambio a un sist. de ref. que se mueve con $\vec{v} = v\hat{x}$ respecto de un SI tiempo afecta las aceleraciones y las fuerzas y por lo tanto $\vec{F} = m\vec{a}$ sigue valiendo.

10 / M

Lo mismo si yo invierto el tiempo:

ver la física al revés es consistente con las leyes de la mecánica de Newton, equivalentemente, yo no puedo decidir si un video de un sistema mecánico si el video está al revés o no,

de la misma forma en que no puedo hacer ningún experimento en un SI para conocer si el SI se mueve o no

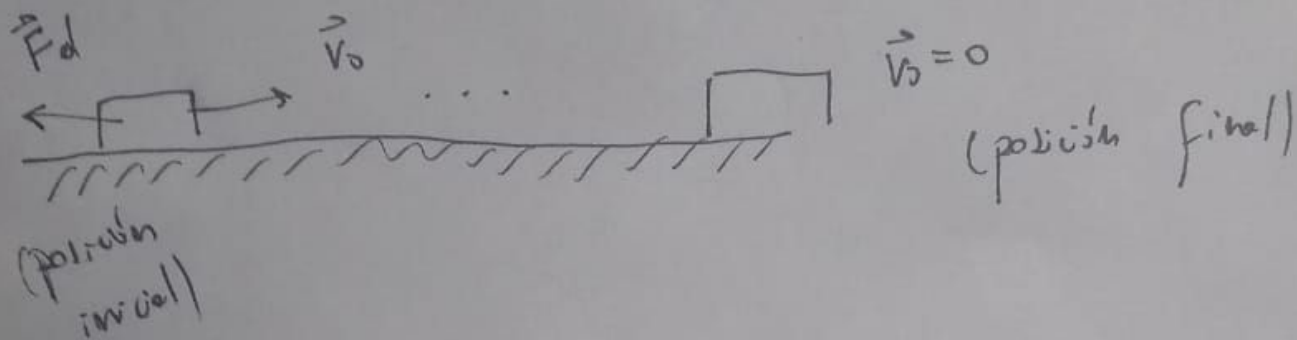
\Rightarrow INVARIANZA DE GALILEO +

INVARIANZA REVERSIÓN TEMPORAL.

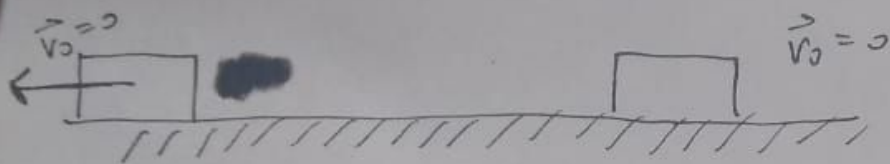
(¿ Podemos distinguir un amanecer de un atardecer viendo un video ?

Pero ahora supongamos que frotamos un bloque
en una superficie con rozamiento dinámico

11/11



Ahora pero al video al revés



¿ Cómo dibujo \vec{F}_d ?

Debería oponerse al movimiento pero
al mismo tiempo tendría
que dibujarla empujando la caja?

Lo que pasa es que las fuerzas de rozamiento
introducen una asimetría temporal. La mecánica no
parece ser la misma al revés si: las fuerzas de fricción
en juegos. Lo mismo pasa con otros procesos irreversibles:
mezclar dos líquidos, romper una taza, etc.
En estos procesos, aumenta la entropía, es decir, la
energía aprovechable se transforma en energía térmica
asociada a los grados de libertad microscópicos e inaccesibles.